

## **SERAT OPTIS SEBAGAI TRANSDUSER ARUS LISTRIK**

Abdul Hamid<sup>1</sup>, Anwar Budianto<sup>2</sup>, Karyono<sup>3</sup>

1. Jurusan Pendidikan Fisika, FPMIPA-IKIP Muhammadiyah, Purworejo
2. Laboratorium Aplikasi Laser, PPNY-BATAN, Yogyakarta.
3. Jurusan Fisika, FMIPA-UGM, Yogyakarta

### **INTISARI**

Telah dilakukan suatu penelitian tentang penggunaan serat optik sebagai transduser arus listrik. Efek faraday mendasari perubahan intensitas cahaya yang melewati medan magnet. Berkas laser He-Ne sebagai pembawa sinyal dilewatkan serat optik. Keluaran laser He-Ne dari serat optik mengenai prisma wollaston dan dipecah menjadi  $I'_x$  dan  $I'_y$ . Sensivitas sistem transduser ini tergantung pada intensitas  $I'_x$  dan  $I'_y$ . Hasil penelitian menunjukkan korelasi linear antara sensitivitas dan arus listrik masukan sampai 240A.

Kata kunci : Arus listrik, efek faraday, serat optik.

## **OPTICAL FIBRE AS AN ELECTRICAL CURRENT TRANSDUCER**

Abdul Hamid<sup>1</sup>, Anwar Budianto<sup>2</sup>, Karyono<sup>3</sup>

1. Physics Education Department, FPMIPA-IKIP Muhammadiyah, Purworejo
2. Laser Application Laboratory, PPNY-BATAN, Yogyakarta.
3. Physics Department, FMIPA-UGM, Yogyakarta

### **ABSTRACT**

Experiment utilizing optical fibre as an electrical current transducer has been done. A change of the light intensity which passes the magnetic field is based on the Faraday effect. He-Ne laser as a signal carrier is guided by an optical fibre. Output of He-Ne laser from the optical fibre is received and splitted by Wollaston prism. The splitted beams of He-Ne laser by Wollaston prism have  $I'_x$  and  $I'_y$  intensities. A sensitivity of this transducer system depends on the  $I'_x$  and  $I'_y$  intensities. The experimental result shows a linear correlation between the sensitivity and the input current for the current up to 240 A.

Key words : Electrical current, Faraday effect, Optical fibre.

## I. PENGANTAR

Dalam bidang - bidang tertentu akan dapat dijumpai arus listrik dalam orde ratusan bahkan ribuan ampere, misal pada sistem jaringan tegangan tinggi, bidang metalurgi, perkapalan dan sebagainya. Dalam sistem jaringan tegangan tinggi alat ukur arus yang digunakan adalah trafo arus. Alat ini tidak mengukur arus secara langsung, akan tetapi hanya mengambil sebagian arus dengan cara analisis dari tegangan rendah yang tertangkap dan diukur dengan menggunakan multimeter. Trafo arus ini memiliki kekurangan yaitu jangkau frekuensi yang rendah, meskipun dengan menempatkan bahan ferromagnetik selain besi (Lizet, 1980). Di samping itu di dalam pembuatannya memerlukan sistem isolasi yang kuat dan ukurannya sangat besar.

Serat optik yang telah lama dikenal dalam bidang telekomunikasi, telah dimanfaatkan sebagai transduser suhu dan tekanan dalam bidang fisika. Dimungkinkan pula serat optik dimanfaatkan sebagai transduser arus listrik (Culshaw, 1984). Serat optik berperan sebagai pemandu gelombang cahaya yang dapat mengarahkan berkas cahaya laser agar selalu sejajar terhadap arah medan magnet. Hal ini dikenal sebagai *efek Faraday*, yang berperan sebagai pengubah besaran magnet menjadi besaran optik. Selanjutnya intensitas keluaran laser dari serat optik ditangkap dan dipecah oleh *analisisator prisma Wollaston*, masing-masing berupa intensitas  $I'_x$  dan  $I'_y$ . Kedua besaran ini sebagai parameter pada perhitungan  $S$  yaitu perbandingan antara selisih dan jumlah  $I'_x$  terhadap  $I'_y$  (Budianto, 1997).

Oleh karena serat optik memiliki beberapa keuntungan antara lain jangkau pita frekuensi yang sangat besar (Hunspeger, 1985) dari keadaan kontinyu hingga megahertz, memungkinkan serat optik dimanfaatkan sebagai transduser arus listrik pada peralatan dengan frekuensi tinggi.

Berdasarkan uraian di atas muncul permasalahan bagaimanakah konstruksi pengukur arus kuat dengan memanfaatkan serat optik sebagai transduser arus listrik.

## II. TINJAUAN TEORI

### II.1. Efek Faraday

*Efek Faraday* ditemukan pada tahun 1846 yaitu suatu fenomena rotasi polarisasi magnetik. Semua medium isotrop yang diletakkan dalam medan magnet akan mengalami rotasi bidang polarisasi dari suatu berkas cahaya yang melewati medium tersebut secara paralel terhadap arah medan magnetik (Guenther, 1990).

Sudut rotasi  $\theta$  sebanding dengan panjang benda  $l$  yang dilalui cahaya dan sebanding dengan besar medan magnet yang digunakan, dirumuskan (Culshaw, 1984) :

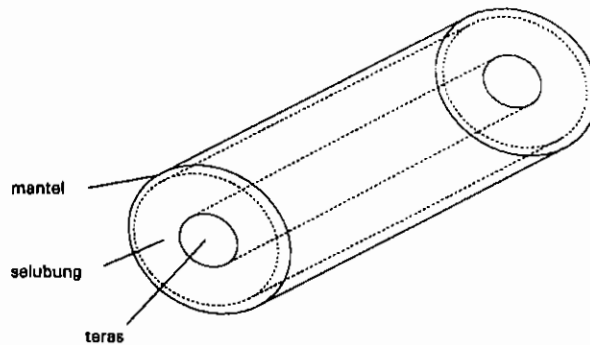
$$\theta = VH \quad (1)$$

dengan  $V$  menyatakan tetapan *Verdet* yang tergantung dari bahan yang digunakan (untuk Silika  $V = 1,61 \times 10^{-2}$  menit gauss<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>) dan  $H$  adalah kuat medan magnet. Dengan demikian sudut  $\theta$  berubah sebanding dengan perubahan medan magnet, sebaliknya tidak akan berubah jika arah medan magnet berlawanan dengan arah cahaya. Jadi terdapat suatu perbedaan esensial dengan polarisasi alami (misalkan oleh gelombang yang melalui kuarsa yang berubah dengan arah perambatan).

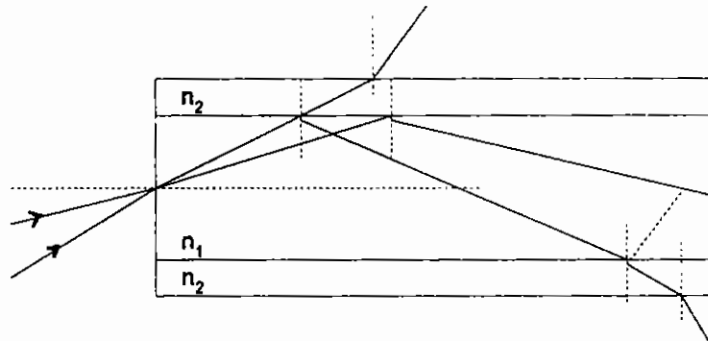
### II.2. Serat Optik

Serat optik terdiri atas teras (*core*) di bagian tengah yang dikelilingi oleh selubung (*cladding*) dan dilindungi secara mekanis oleh mantel (*coating*). Indeks bias teras  $n_1$ , lebih besar daripada indeks bias selubung  $n_2$ .

Teras dan selubung terbuat dari bahan Silika dengan dadah unsur tertentu yang kadarnya berbeda guna memperoleh indeks bias antara keduanya agar dapat memandu gelombang. Sedangkan mantel terbuat dari bahan plastik. Gambar 1 adalah serat optik *indeks undak*. Selain itu terdapat pula serat optik indeks gradien (*graded index*).



Gambar 1. Konfigurasi serat optik (Van Etten dan Van der Plaats, 1991).



Gambar 2. Pemanduan cahaya dalam serat optik multiragam (Lizet, 1980).

Skema pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik dianalisis secara geometri (Gambar 2). Perambatan cahaya dalam serat optik tidak mengikuti sifat alami perambatan cahaya. Dalam serat optik hanya lintasan tertentu yang dapat dipandu. Jumlah lintasan yang dapat dipandu disebut cacah ragam perambatan.

Suatu besaran penting bagi serat optik adalah fungsi frekuensi ternormalisasi  $v$  yang besarnya adalah (Van Etten dan Van der Plaats, 1991) :

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2)$$

dengan  $a$  menyatakan jari teras,  $\lambda$  panjang gelombang cahaya,  $n_1$  dan  $n_2$  masing-masing adalah indeks bias teras dan selubung.

Dalam pemandu gelombang juga didefinisikan indeks bias efektif  $N$  yaitu kecepatan cahaya di ruang bebas  $c$  dibagi dengan kecepatan cahaya terpandu,

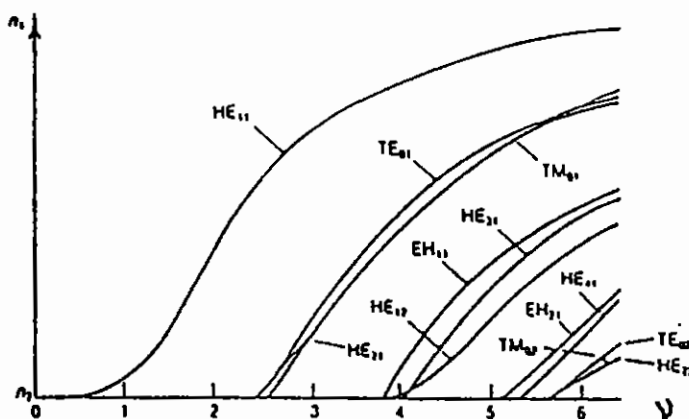
$N = \frac{c}{v_g}$ . Oleh karena  $v_g = \frac{\omega}{\beta}$  dan  $k_0 = \frac{\omega}{c}$  maka diperoleh :

$$N = \frac{\beta}{k_0} \quad (3)$$

dengan  $k_0$  menyatakan *faktor rambat (propagasi)* dalam ruang bebas dan  $\beta$  adalah *tetapan rambat*.

Jumlah ragam pemanduan dalam serat optik sebagai fungsi  $v$  dan  $N = \frac{\beta}{k}$  ditampilkan dalam Gambar 3. Ragam *TE (Transverse Electric)* adalah ragam perambatan yang disebabkan karena vektor medan elektrik berada pada bidang tegak lurus (bidang xoy) terhadap arah perambatan (arah x),  $\bar{E}_z = 0$ .

Sedangkan ragam *TM (Transverse Magnetic)* adalah ragam perambatan yang disebabkan karena medan elektrik tidak lagi melintang tetapi mempunyai komponen sepanjang arah z, sedangkan medan magnetik menuju ke arah x,  $\bar{H}_z = 0$ . *HE* dan *EH* adalah *ragam hibrid* yang berisi komponen elektrik dan magnetik yang mempunyai arah sepanjang sumbu serat.



Gambar 3. Ragam serat berindeks undak(Van Etten dan Van der Plaats, 1991)

Berdasarkan Gambar 3 bila diinginkan memperoleh hanya satu ragam perambatan dalam serat optik maka  $v \leq 2,405$ . Serat optik yang memiliki  $v \leq 2,405$  disebut serat optik ekaragam (*monomode*), sedangkan jika  $v > 2,405$  disebut serat optik multiragam (*multimode*). Tabel 1 memberikan orde dimensi serat optik ekaragam dan multiragam, untuk serat optik.

Dalam serat optik terdapat pula kopling antar ragam, yang disebabkan ketidaksempurnaan bahan dan tidak dapat dihindarkan sehingga memberikan ragam yang berbeda pada keluaran serat optik. Konsekuensinya serat optik demikian tidak dapat menjaga keadaan polarisasi cahaya yang dilewatkan. Hanya serat optik ekaragam yang dapat menjaga keadaan polarisasi yang dilewatkan di dalamnya.

Tabel 1. Orde dimensi serat optik ekaragam dan multiragam (Lizet, 1980).

Serat optik	diameter teras ( $\mu\text{m}$ )	Diameter selubung ( $\mu\text{m}$ )	Indeks bias efektif $N$	$v$
Ekaragam	1 – 10	30 – 200	$10^{-4} < N < 10^{-3}$	$v \leq 2,405$
Multiragam	20 - 1200	> 200	$10^{-3} < N < 10^{-2}$	$v > 2,405$

Gelombang terpandu yang merambat di dalam serat optik dianggap sebagai gelombang bidang, hal ini karena medan listrik  $\vec{E}_z$  searah dengan sumbu perambatan memiliki nilai hampir nol dalam ragam  $HE_{11}$  untuk serat optik ekaragam sehingga  $\vec{E}_z = \vec{H}_z = 0$ . Dengan anggapan bahwa medium perambatan adalah tak terhingga pada bidang xoy maka semua derivatif terhadap x dan y adalah nol.

Persamaan Maxwell dalam medium yang ditinjau dapat dituliskan dengan mengambil permitivitas  $\epsilon$  berbentuk tensor (Lizet, 1980) sebagai berikut :

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & 0 \\ \epsilon_{xy} & \epsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dua suku ekstra-diagonal berkaitan dengan bias ganda rotasi. Keduanya menunjukkan aksi efek *Faraday* (Lizet, 1980) sehingga dapat ditulis :

$$\varepsilon_{xy} = iF \quad (5)$$

$$\varepsilon_{yx} = -iF \quad (6)$$

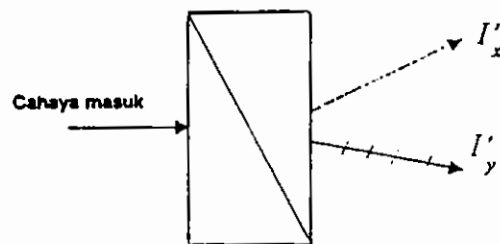
dengan  $F$  menyatakan besaran sebanding dengan medan magnet yang digunakan dan yang berkaitan dengan hukum Verdet (Lizet, 1980) yaitu :

$$\frac{k_0 Fl}{2n} = \rho \ell H = \theta \quad (7)$$

dengan  $n$  menyatakan indeks bias rerata dan  $k_0$  adalah faktor propagasi dalam ruang bebas.

Intensitas laser  $I_x$  dan  $I_y$  yang diterima oleh fotodioda berkaitan dengan masing - masing komponen medan listrik laser  $\vec{E}_x$  dan  $\vec{E}_y$  sesudah melewati prisma Wollaston.  $I_x$  dan  $I_y$  merupakan dua parameter yang dirumuskan dalam persamaan S (Culshaw, 1984), ditunjukkan pada Gambar 4.

$$S = \frac{I'_x - I'_y}{I'_x + I'_y} \quad (8)$$



Gambar 4. Prisma *Wollaston* [Culshaw, 1984]

Dalam hal kebiasamaan  $\delta = 0$  terdapat hubungan antara S dengan  $\theta$  yang sangat kecil yakni :

$$S = 2\theta z \quad (9)$$

Medan magnet  $H$  di sekitar penghantar lurus berarus listrik dinyatakan oleh hubungan :

$$H = \mu_0 i / 2\pi r \quad (10)$$

dengan  $\mu_0$  adalah permeabilitas magnetik ruang hampa dan  $r$  adalah jarak dari kawat penghantar. Dari persamaan (7), (8), (9) dan (10) diperoleh hubungan

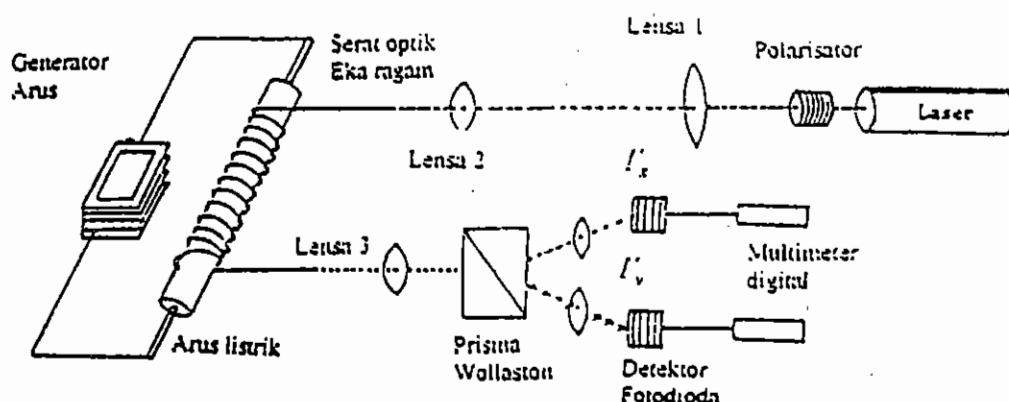
$$S = Ki \quad (11)$$

dengan  $K$  menyatakan sebuah konstanta.

### III. CARA PENELITIAN

Susunan lengkap alat – alat dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 5. Cahaya laser diarahkan pada pusat polarisator linear dengan harapan agar berkas cahaya yang diterima oleh serat optik merupakan berkas yang telah terpolarisasi . Tampak pula dalam Gambar 5 pengkoplingan berkas cahaya laser dilakukan dengan menggunakan dua buah lensa yang masing-masing memiliki fokus 18 cm dan 1 cm.

Fungsi lensa 2 agar berkas laser yang telah difokuskan oleh lensa 1 mempunyai lebar berkas yang sangat kecil sehingga mampu diterima oleh serat optik. Berkas cahaya laser yang telah berhasil dikopling ditransmisikan sepanjang serat optik yang berfungsi sebagai transduser. Keluaran berkas cahaya laser diterima oleh lensa 3, yang selanjutnya akan diolah oleh prisma *Wollaston*. Hasil olahan prisma *Wollaston* ditangkap oleh detektor dan data penelitian terbaca pada multimeter digital.



Gambar 5. Skema penggunaan serat optik sebagai transduser arus listrik (Culshaw, 1984)



Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu :

### 1. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne buatan *Metrologic Helium Neon Laser*. Panjang gelombang berkas laser yang dikeluarkan adalah 632,8 nm, daya maksimum 20 mW, diameter laser 0,68 mm. Tegangan input 110 volt.

### 2. Analisator Polarisasi

Piranti ini terdiri atas sebuah prima Wollaston, yaitu gabungan dua prisma identik yang dilekatkan satu sama lain membentuk paralelipipedum kotak. Setiap prisma dibuat dari bahan bias ganda yang sama (uniaksial), sedemikian hingga sumbu - sumbu optiknya saling tegak lurus (ortogonal).

### 3. Transduser

Piranti ini tersusun atas gabungan serat optik ekaragam (monomode) yang dililitkan pada batang silinder berongga yang terbuat dari bahan isolator. Konduktor arus yang diukur ditempatkan dalam rongga silinder. Diameter silinder berongga lebih besar daripada diameter konduktor arus sedemikian hingga keduanya tidak saling bersentuhan. Serat optik yang digulung pada silinder berongga dijaga agar tidak mengalami regangan saat proses penggulangan. Panjang total serat optik  $l = 5,1$  m, dengan panjang bergulung  $l_2 = 4,2$  m, sedangkan panjang serat optik sebelum dan sesudah penggulangan masing - masing adalah  $l_1 = 0,4$  m dan  $l_3 = 0,5$  m,  $l = l_1 + l_2 + l_3$ .

Hanya  $l_2$  yang dikenai medan magnet searah sumbu oz dan Efek Faraday terjadi sepanjang  $l_2$  dari serat optik ini. Jumlah lilitan pada silinder berongga adalah 51. Arus pada konduktor diperoleh dari generator arus. Diameter silinder berongga adalah 2,6 cm dan diameter konduktor berarus adalah 1,2 cm dengan panjang 22 cm.

## 4. Detektor

Detektor yang digunakan adalah detektor fotodioda yang terbuat dari bahan silikon. Detektor ini buatan EG & G USA model 460-2. Spesifikasi alat tersebut adalah sebagai berikut :

Daya yang diperlukan : 4watt

Panjang gelombang : 632,8 nm untuk laser He-Ne

Ketelitian :  $\pm 3\%$

Langkah - langkah eksperimen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1. Menyusun alat penelitian seperti gambar 5.

2. Memberikan arus pada transduser yang besarnya telah ditentukan.

3. Mengukur keluaran intensitas  $I_x$  dan  $I_y$  dengan menggunakan multimeter digital dalam orde milivolt.

4. Hasil pencacahan oleh multimeter digital dicatat semua untuk suatu nilai, bila pengulangan terjadi maka pencacahan dihentikan.

5. Langkah 2 sampai 4 diulang untuk berbagai nilai arus.

6. Hasil pencacahan diambil nilai rata -rata untuk  $I_x$  dan  $I_y$  guna menentukan nilai S kemudian dibuat grafik S terhadap  $I_2$ .

Untuk analisis data digunakan persamaan regresi linear dengan rumus sebagai berikut (Taylor, 1982) :

$$\Delta = N(\sum I_2^2) - (\sum I_2)^2 \quad (12)$$

$$A = \frac{(\sum I_2^2)(\sum S) - (\sum I_2)(\sum I_2 S)}{\Delta} \quad (13)$$

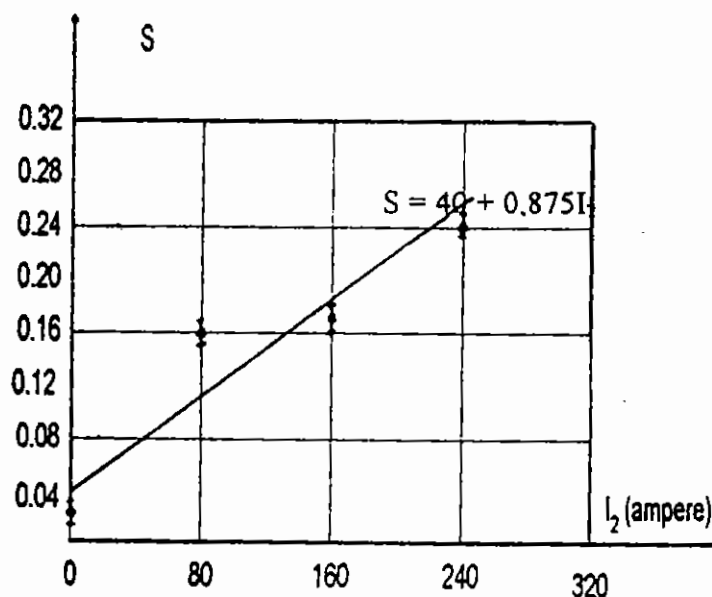
$$B = \frac{N(\sum I_2 S) - (\sum I_2)(\sum S)}{\Delta} \quad (14)$$

dengan  $I_2$  = arus yang diukur dan S = perbandingan antara selisih dan jumlah  $I_x$  terhadap  $I_y$ . Dari rumus tersebut di atas akan diperoleh persamaan regresi linear

$$: S = A + BI_2 \text{ dengan ralat : } \sigma_s = \left( \frac{1}{N-2} \sum_{N=1}^N (S - A - BI_2) \right) \times 100\%$$

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen ditampilkan secara grafik dalam Gambar 6.



Gambar 6. Nilai  $S$  terhadap  $I$

Eksperimen yang telah dilakukan memberikan persamaan regresi linear :

$$S = 0,04 + 0,875 I$$

dengan ralat 4,2%. Ralat ini terlalu besar yang disebabkan dalam hal ketiadaan Efek Faraday ( $I = 0$ ) tidak diperoleh nilai  $I'_x = I'_y$  sehingga  $S \neq 0$ , tetapi hanya mendekati 0 ( $S = 0,01$ ). Hal ini dimungkinkan karena prisma *Wollaston* tidak bekerja secara sempurna. Namun demikian pengukuran pada eksperimen ini telah mampu menghasilkan persamaan regresi linear dengan nilai  $S$  yang selalu naik pada arus kelipatan 80 ampere. Pengukuran nilai sampai 240 ampere disebabkan efek getar dan panas yang ditimbulkan oleh generator arus berpengaruh pada serat optik, terutama pada intensitas keluaran laser. Di samping itu, pada arus lebih besar dari 240 ampere timbul panas yang akan mempengaruhi peregangan serat optik, sehingga rugi rambatan intensitas cahaya akan semakin besar, yang berakibat intensitas keluaran laser dari serat optik tidak mampu dibaca oleh detektor. Hasil konstruksi pengukur arus kuat pada eksperimen ini menunjukkan kemungkinan serat optik dapat dipakai

sebagai transduser arus listrik. Masalah ketelitian hasil eksperimen pada konstruksi ini memerlukan penelitian lebih lanjut.

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **a. Kesimpulan**

Pengukuran intensitas keluaran laser setelah melewati prisma *Wollaston* menunjukkan bahwa hubungan  $S$  dan  $I_2$  memberikan persamaan garis regresi linear dalam jangkau 0 sampai 240 ampere. Ketidakpastian sebesar 4,2% pada eksperimen ini menunjukkan bahwa ketelitian dalam eksperimen ini belum memuaskan. Namun sebagai sebuah konstruksi penelitian ini mampu menunjukkan kemungkinan dimanfaatkannya serat optik sebagai transduser arus listrik.

### **b. Saran**

Getaran mempengaruhi pengukuran intensitas keluaran, oleh karena itu dari hasil eksperimen ini disarankan agar penempatan transduser serat optik ditempatkan sedemikian hingga tidak akan terpengaruh oleh getaran dari generator arus. Getaran akan sangat terasa bila diberikan arus lebih dari 240 ampere. Alternatif lain adalah membungkus serat optik yang dililitkan pada silinder berongga dengan suatu bahan yang mampu meredam getaran. Dimungkinkan pula menggantung isolator berongga yang dililiti serat optik sedemikian hingga antara konduktor dan isolator dipisahkan oleh udara.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar - besarnya kepada : Bapak Kepala Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta (PPNY), Bapak Slamet Riyadi dan segenap staf bengkel dan teknisi Bidang Fisika Nuklir dan Atom PPNY-BATAN Yogyakarta.

### DAFTAR PUSTAKA

- Budianto, A, 1997, *Keluaran Laser pada Serat Optik dengan Tinjauan Teori Medan Listrik*, Jurnal Teknologi Nasional, STTNas, Vol. I, No.1, Yogyakarta.
- Culshaw, B, 1984, *Optical Fibre Sensing and Signal Processing*, Peter Peregrinus Ltd, London.
- Guenther, R.D, 1990, *Modern Optics*, John Willey and Sons, New York.
- Hunsperger, R.G, 1985. *Integrated Optics : Theory and Technology*, Springer-Verlag, New York.
- Lizet, J, 1980, *Mesure de forts courants par effect Faraday dans une fibre optique*, C.U.E.F.A, Paris.
- Taylor, J.R, 1982, *An Introduction to Error Analysis*, University Science Books, California.
- Van Etten, and Van der Plaats, 1991, *Fundamental of Optical Fibre Communication*, Prentice Hall, New York.